

## LA FORMA DE LA TIERRA: EXPEDICIÓN PARA MEDIR UN GRADO DEL ARCO DE MERIDIANO EN EL VIRREINATO DEL PERÚ (1735-1744)

*Carlos de San Antonio Gómez*

Si consideramos la forma de la Tierra desde un punto de vista matemático, entonces no debemos tener en cuenta la forma de su relieve continental ni las alteraciones en el nivel de los mares. Únicamente deberíamos estudiar el contorno medio del globo, determinado por la superficie libre de los océanos –supuestas las aguas en perfecto reposo relativo– prolongada idealmente bajo los continentes. Dicha superficie se llama geoide.

Pero el mar nunca está en reposo. Aún suponiendo esta hipótesis, continuarían actuando en cada punto de la superficie libre oceánica dos fuerzas: la atracción newtoniana de todas las masas terrestres y marinas y la fuerza centrífuga del movimiento de rotación, cuya resultante es la gravedad, que actúa en la dirección de la vertical del punto.

El geoide será entonces la figura teórica resultante del equilibrio de las masas oceánicas sometidas únicamente a la acción de la gravedad por lo que habrá que definirlo en términos de la dinámica. Pero si el geoide coincidiera con alguna superficie algebraica sencilla como la esfera o un elipsoide de revolución, también podría definirse geoméricamente, lo cual no sería posible sino como primera aproximación.

Si la superficie matemática de la Tierra fuese una esfera, bastaría medir la longitud  $L_{AB}$  de un arco del meridiano

y amplitud  $\beta^\circ$  en grados del mismo (diferencia entre las latitudes astronómicas de sus extremos A y B) para calcular el radio R o la circunferencia C del globo.

Por este método calculó la circunferencia terrestre Eratóstenes de Alejandría (240 a. C.), que midió la circunferencia de la Tierra con una precisión extraordinaria al determinar, a través de la astronomía, la diferencia de latitud entre las ciudades de Siena (actual Asuán) y Alejandría, en Egipto. Observó que a mediodía, en el solsticio de verano, los rayos del sol incidían perpendicularmente sobre la tierra y, por tanto, no proyectaban ninguna sombra (Siena estaba situada muy cerca del trópico de Cáncer). En Alejandría se percató de que en la misma fecha y hora las sombras tenían un ángulo de aproximadamente  $7^\circ$  con respecto a la vertical. Al conocer la distancia entre Siena y Alejandría, pudo hallar a través de cálculos trigonométricos la distancia al Sol y la circunferencia de la Tierra.

En el siglo XVII, tomó cuerpo la idea de que la tierra no era esférica sino que tenía forma elipsoidal: la tierra sería, en ese supuesto, un elipsoide de revolución. Las incógnitas que entonces habría que determinar fueron los dos parámetros de la elipse meridiana, pero el método anterior pudo conservarse, pues toda medida de un arco de meri-

Juan y Antonio de Ulloa, que tuvieron que ser reimpresas en 1773. Por entonces las academias científicas de Francia, Inglaterra, Holanda y Alemania ya habían traducido la primera edición. Al francés la tradujo M. De Mauvillon, editándose en 1752, 1850 y 1861 en París y Ámsterdam. En inglés se imprimió cinco veces: 1758, 1760, 1762, 1772 y 1802. Holanda la editó en una ocasión, 1772. Esta es, sin duda, la mejor prueba de las excelencias de la obra, considerada como una de las grandes obras científicas sobre la América del siglo XVIII, sólo comparable a la que medio siglo después realizaría Alejandro de Humbold.

En la figura 8 se reproduce la carta, contenida en el libro de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, con indicación de la red de triangulación utilizada. En cuanto a la representación de la orografía se puede apreciar la aparición de los primeros cambios, sustanciales por otra parte, con referencia a la simbología de periodos anteriores, lo cual no quiere decir que el relieve se encuentre determinado perfectamente, de forma geométrica. Las montañas aparecen definidas por su proyección ortogonal sobre un plano horizontal, introduciendo un rayado para dar sensación de altitud, a modo de líneas de máxima pendiente y sombreado. Siguen manteniendo en el plano las formas abatidas para significar la vegetación y las poblaciones. La red hidrográfica es amplia y ofrece la carta la impresión de encontrarse bien determinada.

## Epílogo

La forma de la tierra quedó definitivamente establecida, según Newton había imaginado, como un elipsoide de revolución achatado por los polos (forma naranja, según el argot de entonces para diferenciarla de la forma limón auspiciada por Cassini, aunque en la actualidad se ha demostrado que su forma es más bien asimilable a una pera). Se llegó a esa conclusión y a saber sus verdaderas dimensiones, a partir de las expediciones que la Academie Royale des Sciences de París organizó a Laponia y al Virreinato del Perú para medir el valor de un grado del arco de meridiano en esos lugares extremos.

La expedición a Laponia se hizo en un tiempo razonablemente corto, un año, porque no presentó apenas dificultades. La expedición a Perú, plaga-

da de dificultades de todo tipo y que duró casi una década, terminaría convirtiéndose en una auténtica gesta científica y abrió muchos caminos de futuro para diversas ramas del saber: geodesia, astronomía, navegación, botánica, etc. Los resultados de la medición del Perú, fueron muy exactos, con un error en torno al 0,04% (unas 22 toesas aproximadamente).

Realizadas las dos mediciones del arco de meridiano, los resultados mostraron, sin lugar a dudas, que el grado polar era mayor en longitud que el grado ecuatorial, confirmando así la teoría de Newton de que la Tierra no era una esfera, sino un elipsoide de revolución aplanado por los polos. Semejante conclusión dio pie a que Voltaire afirmase, mediante un juego de palabras, que Newton había aplastado a la Tierra y a Cassini, y para mayor burla publicó un enfático epigrama:

“Héros de la Physique, argonautes nouveaux,  
Qui franchissez les monts, qui traversez les eaux,  
Ramenez des climats soumis aux trois couronnes,  
Vos perches, vos secteurs et surtout deux Laponnes,  
Vous avez confirmé dans ces lieux pleins d’ennui,  
Çe que Newton connut sans sortir de chez lui.  
Vous avez arpenté quelque faible partie  
Des flancs toujours glacés de la Terre aplatie”.